

# 語意獲得とはどのような問題か：普通名詞と指示詞の意味獲得の 計算機シミュレーションに基づく考察

## Some problems on the acquisition of word meaning: A computer simulation based approach to the word-meaning acquisition of demonstratives and common nouns

荒木 修\* 深田 智 尾関 基行 岡 夏樹

Osamu ARAKI, Chie FUKADA, Motoyuki OZEKI, Natsuki OKA

京都工芸繊維大学 大学院工芸科学研究科

Graduate School of Science and Technology, Kyoto Institute of Technology

**Abstract:** The elucidation of the nature of the problems underlying the acquisition of word meaning is crucial in exploring human intelligence and designing a humanoid robot with highly interactive function. In this paper, we investigate the process of word meaning acquisition based on the “co-occurrence” information, focusing on some Japanese common nouns (e.g. *ringo* ‘apple’) and demonstratives (e.g. *are* ‘that’). Through the use of computer simulations, we demonstrate that the word meaning acquisition is affected by: (i) the complexity of the logical formula (e.g. ‘(RED GREEN) ROUND’ in the case of *ringo*) which should be acquired as a word meaning, (ii) the occurrence of both demonstratives and common nouns, (iii) the number of the objects in the scene, and so on.

## 1 はじめに

言葉の意味獲得は、人間のようなインタラクションを可能にする知能の解明や、高度なインタラクション機能を備え持つロボットの実現に避けては通れない問題である。本研究では、単語の意味獲得がどのような性質をもった問題であるかを以下の設定の範囲内で部分的に明らかにすることを目指す。1) 獲得する単語の意味が「りんご」= (<色:赤> <色:青>) <形:丸>、「あれ」= <話し手距離:遠> <聞き手距離:遠> のような<属性:値>の組み合わせにより表現されるとし、かつ、2) 単語の発話と状況内のこれら属性値との共起情報に基づき単語の意味が獲得されたとした場合のようなことが問題になるかを計算機シミュレーションを通して調べた。

我々は、これまでも普通名詞と指示詞が混在した中で両者の意味獲得の計算機シミュレーションを行ってきた [1]。そこでは、単語とすでに獲得済みの概念を対応付ける問題を扱ったが、本研究では、概念を<属性:値>を組み合わせた論理式として獲得する問題も扱う。また、[1] では状況設定が複雑であったため、意

味獲得の難しさにどの要因がどのように効いているかの分析が難しかった。そこで本研究では、より単純な状況設定のシミュレーションを行うことにより、さまざまな要因の中で以下に示す2つの要因に絞って、その影響を考察した。

- 単語と対応づける概念(論理式)の複雑さの影響
- 普通名詞と指示詞が混在することの影響

Gold らも普通名詞と指示詞の意味獲得を扱っているが、それらを順次別々に獲得する設定であり、同時に並行して獲得する問題は扱っていない [2]。

本稿の構成は次の通りである。まず2節で共起情報による意味獲得について述べ、3節で計算機シミュレーションの概要を紹介する。4節と5節では、上記の2つの要因ごとの計算機シミュレーションとその結果・考察を記し、6節でまとめと今後の展望を述べる。

## 2 共起情報に基づく意味獲得

### 2.1 共起回数の数え上げ

本稿で言う共起は、発話された単語と、場面内にある物体が持つ<属性:値>(たとえば、<色:赤>や<

\*連絡先: 京都工芸繊維大学 大学院工芸科学研究科  
〒606-8585 京都市左京区松ヶ崎橋上町  
E-mail: osamu@ii.is.kit.ac.jp

形：丸>等)が同時に出現することを表す．例えば，物体<りんご>と<みかん>がある場面で「りんご」の発話を行ったとき，発話された「りんご」と場面内にある物体<りんご>と<みかん>が持つ<属性：値>との共起回数を1回ずつ増やす．単語とそれに対応する<属性：値>とは共起することが多いと考えられるため，共起回数を数えることで単語の意味を推定することができる．

## 2.2 Fisherの直接法による意味候補の推定

共起頻度の数値が大きいだけで，それが意味だとは限らない．単語の出現頻度や，属性値の出現頻度自体に偏りがあるからである．そこで，Fisherの直接確率計算法を用いて，周辺分布に基づき共起頻度を評価する．Fisherの直接法は，対応のない2条件間の比率の差の有意性の検定に使われる．岡らは自由発話からの学習における，誤りを含み頻度に偏りがある多種類の少数データから，Fisherの直接法を用いることで共起頻度が有意に高い言葉と状況の対を精度よく見つける方法を提案した[3]．本稿では，共起頻度からの意味推定に岡らの提案した手法の一部を用いる．

Fisherの直接法による意味の推定方法を以下に示す．

1. 各発話単語と各意味候補との共起度数を記録し，度数分布表を作成する．
2. 各発話単語と各意味候補との度数分布表から，ある発話単語とある意味候補との四分表を作成する，四分表の一例を表1に示す．
3. 式(1)を用いて，周辺度数( $p, q, r, s$ )を観測された値に固定した場合の「各セルの度数パターン( $a, b, c, d$ )」が観測される確率 $P$ (式(1)により算出)と「より偏ったパターンが観測される確率」の総和を求める．この総和確率が小さいことは，特異的に共起していることを示す．共起頻度が高いか低いかは， $a - \frac{pr}{t}$ の値により区別できる．今回は特異的に高い意味候補を見つけたいので， $a - \frac{pr}{t} < 0$ の場合は意味候補とせず除外する．

$$P = \frac{p!q!r!s!}{a!b!c!d!t!} \quad (1)$$

表1: 「りんご」と<色：赤>の共起の特異性を調べる四分表の一例

	「りんご」	「りんご」以外	合計
<色：赤>	a	b	p
<色：赤以外>	c	d	q
合計	r	s	t

## 3 計算機シミュレーション

シミュレーションは，話し手と聞き手がいる状態で，テーブルに物体が置かれている場面を想定する．話し手が「りんご」のようにある単語を発話し，聞き手は話し手の発話単語に対してテーブルに置かれた物体が持つ各意味候補の共起回数を増やす処理を行う．話し手の1発話を1エピソードとし，このエピソードを話し手の発話単語やテーブル上の配置物体を変えて繰り返すことで，聞き手に単語の意味獲得を行わせる．発話される単語やテーブル上での物体の配置方法は，シミュレーション毎に定義する．

## 4 シミュレーション1:意味獲得する論理式の複雑さの影響

### 4.1 シミュレーション設定

意味獲得する論理式の複雑さによる影響を考察するために「りんご」の意味獲得において「りんご」が指し示す物体の意味を以下の場合としたときのシミュレーションをそれぞれ行う．

#### 1-1. 単独の<属性：値>が意味

「りんご」=<色：赤>

「これ」=<話し手距離：近>(「りんご」の場合と同様の結果が得られるので，結果は省略)

#### 1-2A. ORで結ばれた<属性：値>が意味

「りんご」=<色：赤> <色：青>

#### 1-2B. ANDで結ばれた<属性：値>が意味

「りんご」=<色：赤> <形：丸>

「あれ」=<話し手距離：遠> <聞き手距離：遠>(これも結果は省略)

#### 1-3. ANDとORで結ばれた<属性：値>が意味

「りんご」=

(<色：赤> <色：青>) <形：丸>

また，シミュレーションに共通する設定を以下に示す．

#### ● 使用する共起情報

– 色：<赤> <青> <黄>

– 形：<丸> <四角>

– 話し手からの距離：<近> <遠>

● エピソード毎に，上記の属性の値を等確率でランダムに組み合わせた物体が1つだけ配置される．

● 配置物体の各属性値が上記の意味定義に一致するなら「りんご」，それ以外の場合は「りんご」以外の単語を発話する．

#### 4.2 シミュレーション結果：1-1. 単独の<属性：値>が意味

「りんご」=<色：赤>の場合の「りんご」と各属性値との共起頻度パターンの生起確率（2.2節で説明した総和確率）の推移を図1に示す。グラフのプロットに表れていない属性値は、それが「りんご」とは特異的に高く共起していないことを表す。

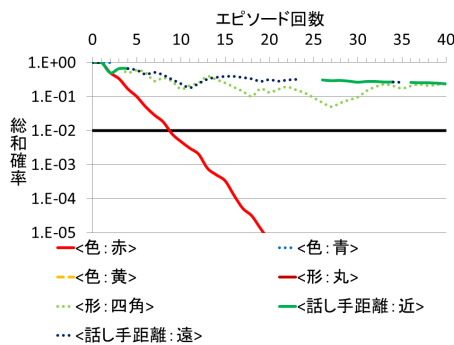


図1: 「りんご」=<色：赤>の場合の「りんご」と各属性値の共起頻度パターンの生起確率の推移

グラフから、9エピソードにおいて1%有意水準（グラフ中の太い水平線）で「りんご」と<色：赤>は無関係である」という帰無仮説が棄却できることが分かる。

#### 4.3 シミュレーション結果：1-2A. ORで結ばれた<属性：値>が意味

「りんご」=<色：赤> <色：青>の場合の「りんご」と各属性値との共起頻度パターンの生起確率（2.2節で説明した総和確率）の推移を図2に示す。

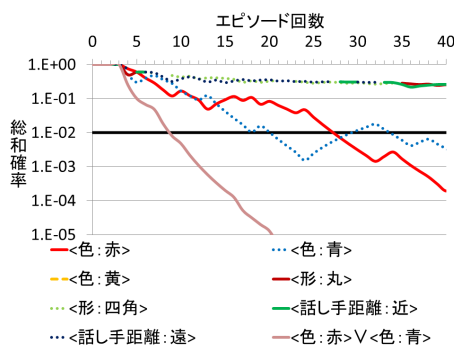


図2: 「りんご」=<色：赤> <色：青>の場合の「りんご」と各属性値の共起頻度パターンの生起確率の推移

28エピソード以降では、ほぼ1%有意水準で<色：赤>と<色：青>はそれぞれ「りんご」と関係があると

いえることが分かる。ただし、<色：赤>や<色：青>がそれぞれ「りんご」と関係があることは分かるが、この結果だけでは「りんご」=<色：赤> <色：青>であることは分からない。また、シミュレーション1-1と比べて総和確率の減少が遅いため、意味の推測ができるためには、エピソード数が多く必要となっている。そこで、<色：赤> <色：青>のような概念であることの推測や、より少ないエピソード数での意味の推測を試みたい。

このシミュレーションでは、りんごは青色の場合もあるため「りんご」と<色：赤>の出現はぴったりと一致はしない。このため、4.2節のシミュレーションと比べて、総和確率の下がり方が遅くなる。しかし、「りんご」 <色：赤>という特徴的な包含関係があり、これを検出できると、<色：赤>がORで結ばれた形で意味を構成することを推測できると考えられる。表1の四分表においては、ORで結ばれた形で意味を構成する属性値の場合は  $b = 0$  となる。さらに周辺確率を考慮すると、式(2)で  $Y_{OR}$  が十分小さい場合、ORで結ばれた形で意味を構成する候補であると言える。

$$Y_{OR} = \frac{b \cdot b}{p \cdot s} \quad (2)$$

エピソード数10回時点での各意味候補の  $Y_{OR}$  の値を計算すると、それぞれ<色：赤> : 0, <色：青> : 0, <色：黄> : 1, <形：丸> : 0.25, <形：四角> : 0.17, <話し手距離：近> : 0.38, <話し手距離：遠> : 0.063 が得られ、早い時点で<色：赤>と<色：青>がORの関係を持つ意味と推測できる。推測した組み合わせ<色：赤> <色：青>の特異的な共起確率を計算すると、エピソード数10回時点でほぼ1%有意水準で<色：赤> <色：青>は「りんご」と関係があるといえることが分かり、より少ないエピソード数で<色：赤>と<色：青>は「りんご」と関係があることや<色：赤> <色：青>の概念を見つけることができる。

#### 4.4 シミュレーション結果：1-2B. ANDで結ばれた<属性：値>が意味

「りんご」=<色：赤> <形：丸>の場合の「りんご」と各属性値との共起頻度パターンの生起確率（2.2節で説明した総和確率）の推移を図3に示す。

38エピソード以降では、ほぼ1%有意水準で<色：赤>と<形：丸>はそれぞれ「りんご」と関係があるといえることが分かる。ただし、<色：赤>や<形：丸>がそれぞれ「りんご」と関係があることは分かるが、この結果だけでは「りんご」=<色：赤> <形：丸>であることは分からない。また、シミュレーション1-1と比べて総和確率の減少が遅いため、意味の推測がで

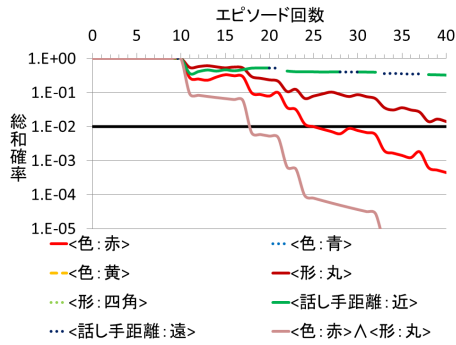


図 3: 「りんご」= $\langle \text{色:赤} \rangle \langle \text{形:丸} \rangle$  の場合の、「りんご」と各属性値の共起頻度パターンの生起確率の推移

きるためには、エピソード数が多く必要となっている。そこで、 $\langle \text{色:赤} \rangle \langle \text{形:丸} \rangle$  のような概念であることの推測や、より少ないエピソード数での意味の推測を試みたい。

このシミュレーションでは、りんごは $\langle \text{形:丸} \rangle$  な必要もあるため「りんご」と $\langle \text{色:赤} \rangle$  の出現はぴったりと一致はしない。このため、4.2 節のシミュレーションと比べて、総和確率の下がり方が遅くなる。また、4.3 節のシミュレーションよりも総和確率の下がり方は遅い。原因は「りんご」の発話回数が少ないことにあり、4.3 節では「りんご」と発話される確率は 0.67 だが、4.4 節ではその確率が 0.17 となるためである。しかし、 $\langle \text{色:赤} \rangle$  「りんご」という特徴的な包含関係があり、これを検出できると、 $\langle \text{色:赤} \rangle$  が AND で結ばれた形で意味を構成することを推測できると考えられる。表 1 の四分表においては、AND で結ばれた形で意味を構成する属性値の場合は  $c = 0$  となる。さらに周辺確率を考慮すると、(3) 式で  $Y_{AND}$  が十分小さい場合、AND で結ばれた形で意味を構成する候補であると言える。

$$Y_{AND} = \frac{c}{q} \cdot \frac{c}{r} \quad (3)$$

エピソード数 20 回時点での各意味候補の  $Y_{AND}$  の値を計算すると、それぞれ  $\langle \text{色:赤} \rangle : 0$ ,  $\langle \text{色:青} \rangle : 0.019$ ,  $\langle \text{色:黄} \rangle : 0.016$ ,  $\langle \text{形:丸} \rangle : 0$ ,  $\langle \text{形:四角} \rangle : 0.016$ ,  $\langle \text{話し手距離:近} \rangle : 0.0056$ ,  $\langle \text{話し手距離:遠} \rangle : 0.0056$  が得られ、早い時点で  $\langle \text{色:赤} \rangle$  と  $\langle \text{形:丸} \rangle$  が AND の関係を持つ意味と推測できる。推測した組み合わせ  $\langle \text{色:赤} \rangle \langle \text{形:丸} \rangle$  の特異的な共起確率を計算すると、エピソード数 20 回時点でほぼ 1% 有意水準で  $\langle \text{色:赤} \rangle \langle \text{形:丸} \rangle$  は「りんご」と関係があるといえることが分かり、より少ないエピソード数で  $\langle \text{色:赤} \rangle$  と  $\langle \text{形:丸} \rangle$  は「りんご」と関係があることや  $\langle \text{色:赤} \rangle \langle \text{形:丸} \rangle$  の概念を見つけることができる。

#### 4.5 シミュレーション結果：1-3. AND と OR で結ばれた $\langle \text{属性:値} \rangle$ が意味

「りんご」= $(\langle \text{色:赤} \rangle \langle \text{色:青} \rangle) \langle \text{形:丸} \rangle$  の場合の「りんご」と各属性値との共起頻度パターンの生起確率 (2.2 節で説明した総和確率) の推移を図 4 に示す。

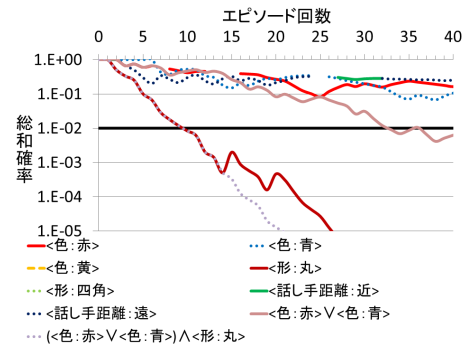


図 4: 「りんご」= $(\langle \text{色:赤} \rangle \langle \text{色:青} \rangle) \langle \text{形:丸} \rangle$  の場合の「りんご」と各属性値の共起頻度パターンの生起確率の推移

9 エピソード以降では、ほぼ 1% 有意水準で  $\langle \text{形:丸} \rangle$  は「りんご」と関係があるといえることが分かる。しかし、40 エピソードの時点でも  $\langle \text{色:赤} \rangle$  と  $\langle \text{色:青} \rangle$  に対して有意傾向はなかった。

エピソード 40 回時点で  $\langle \text{色:赤} \rangle$  と  $\langle \text{色:青} \rangle$  と  $\langle \text{形:丸} \rangle$  のみ特異的に共起しているという結果は得られていないが、この時点で  $\langle \text{色:赤} \rangle$  と  $\langle \text{色:青} \rangle$  と  $\langle \text{形:丸} \rangle$  が「りんご」と関係があること、さらに OR や AND でどのように組みあわせられるかの推測を試みたい。

エピソード 40 回時点での各意味候補の  $Y_{OR}$  の値を計算すると、それぞれ  $\langle \text{色:赤} \rangle : 0.14$ ,  $\langle \text{色:青} \rangle : 0.18$ ,  $\langle \text{色:黄} \rangle : 0.38$ ,  $\langle \text{形:丸} \rangle : 0.034$ ,  $\langle \text{形:四角} \rangle : 0.85$ ,  $\langle \text{話し手距離:近} \rangle : 0.36$ ,  $\langle \text{話し手距離:遠} \rangle : 0.29$  が得られた。また  $Y_{AND}$  の値を計算すると、それぞれ  $\langle \text{色:赤} \rangle : 0.091$ ,  $\langle \text{色:青} \rangle : 0.060$ ,  $\langle \text{色:黄} \rangle : 0.25$ ,  $\langle \text{形:丸} \rangle : 0$ ,  $\langle \text{形:四角} \rangle : 0.42$ ,  $\langle \text{話し手距離:近} \rangle : 0.099$ ,  $\langle \text{話し手距離:遠} \rangle : 0.090$  が得られた。

各意味候補を  $Y_{OR}$  と  $Y_{AND}$  の値を見ると、 $Y_{AND}$  では  $\langle \text{形:丸} \rangle$  が AND の関係を持つ意味と推測できる。しかし、 $Y_{OR}$  では OR の意味ではない  $\langle \text{形:丸} \rangle$  が一番低い値であり、 $\langle \text{色:赤} \rangle$  と  $\langle \text{色:青} \rangle$  の  $Y_{OR}$  の値と他の意味候補の  $Y_{OR}$  の値と有意な差はなかった。

この結果から、シミュレーション 1-2A の A B や 1-2B の A B の形、さらに X が複雑な論理式としたときの A X や A X の形については、A や B はそのような論理式に含まれていることが推測できるが、

それ以外の場合は推測できないことが分かる。

## 5 シミュレーション2: 普通名詞と指示詞が混在することの影響

### 5.1 シミュレーション設定

普通名詞と指示詞が混在することの影響を考察するために、「りんご」「これ」「それ」の意味獲得において、各単語の意味を以下の場合としたときのシミュレーションを行う。

「りんご」=<色:赤>

「これ」=<話し手距離:近>

「それ」=<話し手距離:遠>

また、シミュレーションの設定を以下に示す。

- 使用する共起情報
  - 色: <赤> <青> <黄>
  - 形: <丸> <四角>
  - 話し手からの距離: <近> <遠>
- エピソード毎に、上記の属性の値を等確率でランダムに組み合わせた物体が1つだけ配置される。
- 以下の条件でエピソード毎の発話単語を決定する。
  - 普通名詞と指示詞のどちらを使うかをまず等確率にランダムで決定する、
  - 普通名詞を使用する場合、配置物体が<色:赤>なら「りんご」、それ以外の場合は「りんご」「これ」「それ」以外の単語を発話する。
  - 指示詞を使用する場合、配置物体が<話し手距離:近>なら「これ」、<話し手距離:遠>なら「それ」を発話する。

### 5.2 シミュレーション結果

「りんご」「これ」「それ」のそれぞれについて、各属性値との共起頻度パターンの生起確率(2.2節で説明した総和確率)の推移を図5~図7に示す。

32エピソード以降では、ほぼ1%有意水準で「りんご」「これ」「それ」はそれぞれ<色:赤>、<話し手距離:近>、<話し手距離:遠>と関係があることが分かる。このように、エピソード数を増やせば正しい意味候補のみ特異的に共起している結果が得られるが、エピソード数が少ない段階で総和確率に差がつかない

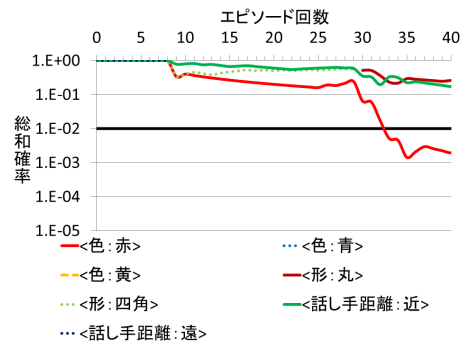


図5: 「りんご」と各属性値の共起頻度パターンの生起確率の推移

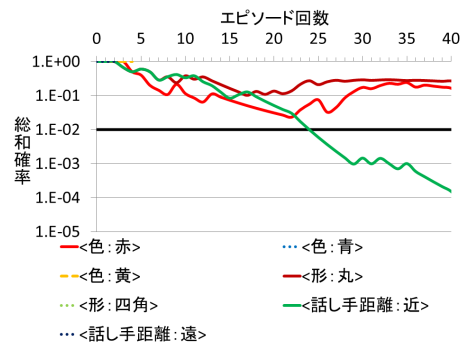


図6: 「これ」と各属性値の共起頻度パターンの生起確率の推移

のは、指示詞と普通名詞が混在していることが原因である。例えば、図8に示すように「これ」と<話し手:近>は常に共起するわけではないので、4.2節のシミュレーションと比べて、総和確率の下がり方が遅くなる。なお、「これ」は、<話し手距離:近>に含まれるという関係にあるが、このことは、「これ」の意味が<話し手距離:近> Xの形であることを示すわけではない。近い物体でも「りんご」や「ばなな」等で指示されることがあるからである。同様に「りんご」の場合でも、「りんご」と<色:赤>の出現はぴったりとは一致しないので同じ問題が起こる。

本来なら指示詞が使われるときはその場の状況を判断して指示対象が特定できることが多く、普通名詞が使われるときは言葉だけで指示対象が特定できることが多い。今回のシミュレーションでは、話し手の発話は置いている物体の属性値のみを考慮して行うため、さらにその場の状況を考慮した発話を行うというシミュレーションをすれば意味の候補が絞りやすくなると考えられる。

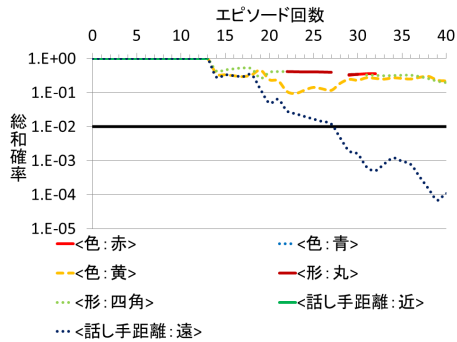


図 7: 「それ」と各属性値の共起頻度パターンの生起確率の推移

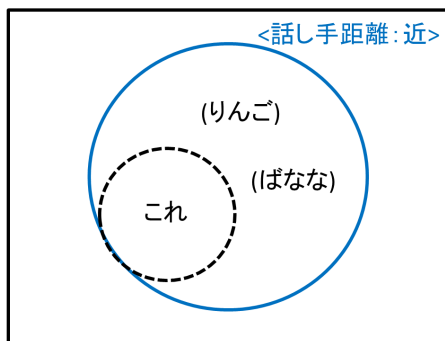


図 8: 「これ」と<話し手距離: 近>の包含関係。「話し手から近い物がすべて「これ」で指示されるわけではない。

## 6 まとめと今後の展望

計算機シミュレーションという手段を用いて、共起頻度に基づく意味獲得する論理式の学習の複雑さと指示詞と普通名詞の学習の難しさについて実験的に検討し、提案した学習アルゴリズムについて、以下の点が分かった。

- 「りんご」 = <色: 赤> <色: 青> や「りんご」 = <色: 赤> <形: 丸> の学習に比べて「りんご」 = (<色: 赤> <色: 青>) <形: 丸> の学習は難しくなる。
- 指示詞と普通名詞を同時学習するのは、それぞれを単独学習する場合と比べて難しい。

今後の展望として、今回は指示対象となる物体を 1 つに絞った場合でシミュレーションを行ったが、本来なら複数の物体が存在している場面での言葉の意味獲得が自然である。この場合、以下の点が問題になると考えられる。

- 同時に出現する物体の数の違いによる、意味獲得への影響

- 同時に出現する物体の種類の数による、意味獲得への影響

同時に出現する物体の数では、出現する物体の数が多くなればどの物体に言及しているか判断できなくなり、対象物体を絞り込む注意の能力がなければ本来の対象物体以外の共起情報がカウントされるため意味学習が難しくなるが、どの程度難しくなるか、および、注意の効果を今後明らかにしたい。

複数物体が出現する状況では、物体の種類数が学習速度にどのように影響するかも興味深い問題である。実験設定の詳細は紙数の関係で省くが、1 個または 2 個の物体が置かれる状況で、物体の種類数が 2 種と 8 種の場合の学習速度を比較したグラフを図 9 に示す。8 種の場合は、「りんご」と発話される機会は 2 種の場合の 1/4 に減ってしまうにもかかわらず、学習速度があまり変わらないという興味深い結果が得られている。今後、実験条件を変えてさらにシミュレーションを行い、この結果がどういう条件で成立するかを調べたい。

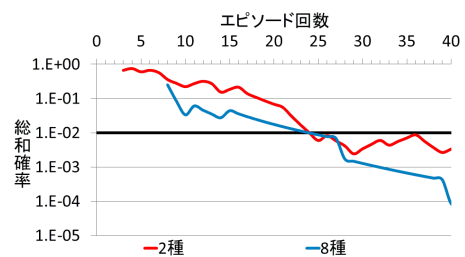


図 9: 「りんご」と物体<りんご>の共起頻度パターンの生起確率の推移

## 参考文献

- [1] 荒木修, 西垣貴央, 植村竜也, 中谷仁, 尾関基行, 小島隆次, 深田智, 岡夏樹: 指示詞と普通名詞が混在している中での意味獲得, 人工知能学会全国大会 (第 25 回), No. 3B1-OS22b-2(2011)
- [2] K. Gold, M. Doniec, C. Crick, and B. Scasselati: Robotic vocabulary building using extension inference and implicit contrast, Artificial Intelligence, Vol. 173, No. 1, pp. 145-165(2009)
- [3] 岡夏樹, 増子雄哉, 林口円, 伊丹英樹, 川上茂雄: Fisher の直接法を用いたインタラクションデータからの意味学習, 知能と情報 (日本知能情報フレンジイ学会誌), Vol. 20, No. 4, pp. 461-472(2008)